

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОГО ШАГА ОБРУШЕНИЯ ПОРОД ОСНОВНОЙ КРОВЛИ В ЛАВАХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*Н.В. Хозяйкина, А.Н. Пашко, А.В. Хозяйкин, ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепрпетровск, Украина*

Целью исследований является установление закономерностей развития геомеханических процессов при отходе лавы от монтажной камеры и до первого обрушения пород основной кровли.

На основе численных моделей, имитирующих условия отработки пластов угля при слабометаморфизированных вмещающих породах установлена зависимость шага первичного обрушения от основных геомеханических параметров.

**Введение.** На шахтах Западного Донбасса отработка угольных пластов с каждым годом осуществляется во все более сложных условиях, с применением высокопроизводительной техники, новых типов крепи при одновременном повышении уровня безопасности работающих и снижении отрицательной нагрузки на окружающую среду. Эффективность добычных работ и безопасность труда обеспечиваются на основе геомеханического подхода к обоснованию технологических параметров разработки полезных ископаемых, который учитывает специфику управления состоянием породного массива в конкретных горно-геологических условиях.

Отличительной особенностью месторождения является крепкий и вязкий уголь ( $f = 3,0 \div 4,5$  по шкале Протоджяконова) и слабые, склонные к пучению породы почвы и кровли пласта: аргиллит и алевролит ( $f = 1,0 \div 3,5$  по шкале Протоджяконова), которые при увлажнении размокают, теряя при этом 50-80% прочностных свойств. Поступление даже незначительного количества воды в рабочее пространство лав приводит к размоканию почвы, расслоению и обрушению пород кровли [1].

Рост интенсивности отработки угольных запасов в условиях слабометаморфизированных вмещающих пород, прочность которых нередко ниже прочности угля, наличие геологических нарушений и обводненности приводят к тому, что проявления горного давления приобретают новый характер. Усилились случаи вывалообразования в кровле выработок, увеличилась скорость и возросла величина пучения пород почвы, первичное обрушение кровли сопровождается сильным газовыделением.

Таким образом, управление кровлей подземных выработок на основе геомеханических закономерностей углепородного массива в условиях интенсивной отработки угольных пластов на шахтах Западного Донбасса является важной научно-технической задачей

**Постановка задачи.** Интенсивное ведение горных работ предполагает быстрое обнажение пород на значительной площади.

Периодические посадки основной кровли в процессе очистной выемки вызывают цикличные скачкообразные изменения напряженного состояния породного массива, что усиливает динамический фактор при контакте вмещающих пород с крепью выработок. При наличии в кровле очистной выработки прочных пород, в частности песчаников и песчаных сланцев, создается консольное зависание пород с последующим внезапным, трудно прогнозируемым обрушением, которое сопровождается сильным выделением газа [1].

**Основная часть.** Сооружение разрезной печи, которая затем расширяется, образуя монтажную камеру, вносят первое изменение в начальное напряженно-деформированное состояние (НДС) углепородного массива. Последующее подвигание очистного забоя, вызывает увеличение концентрации напряжений впереди забоя и падение напряжений над выработкой, т.е. образование зон опорного давления и разгрузки. Согласно сложившимся представлениям над выработанным пространством вследствие перераспределения напряжений формируется некоторая область, в пределах которой горные породы переходят в иное качественное состояние, отличное от состояния нетронутого массива, сопровождающееся расслоением и раз-

рыхлением пород, потери связи между слоями, заключенными в этой зоне, а также с основной частью массива.

По мере подвигания очистного забоя вследствие изменения размеров выработанного пространства меняется НДС в окрестности образованной полости, а следовательно, изменяются также размеры и конфигурация зоны разрушения. На начальном этапе очистных работ по мере отхода лавы от разрезной печи область разрушения в кровле невелика и породы внутри ее удерживаются за счет остаточной прочности и сил сцепления. При определенном (критическом) размере выработанного пространства зона разрушения становится такой, что вес пород внутри нее превосходит силы сцепления, породы теряют связь с остальным массивом и обрушаются в выработанное пространство (происходит генеральное, или первичное, обрушение кровли) [2].

Распространение зоны разрушения в породах кровли по мере постепенного увеличения размеров выработанного пространства можно трактовать как процесс образования свода обрушения в его классическом понимании. Свод обрушения [3] представляет собой зону предельного равновесия пород, или зону неупругих деформаций, в пределах которой породы в значительной мере разрушены и их физико-механические свойства отличны от свойств основного породного массива. Следует отметить, что для слоистой, неоднородной среды форма зоны разрушения может отклоняться от классической параболы, принимая, например, форму трапеции [4].

Согласно условию, предложенному М.М. Протодяконовым и развитому в работах Л.Я. Парчевского [5], обрушение наступит тогда, когда вес пород, заключенных в своде, превысит величину удерживающей силы:

$$Q \geq R_{\text{од}} \cdot L. \quad (1)$$

Здесь  $Q = S \cdot \gamma_{\text{пор}}$  – вес пород свода, определяемый как произведение площади  $S$  поперечного сечения свода на усредненный объемный вес пород свода (рис. 1);  $R_{\text{од}} = \sigma_p \cdot L$  – удерживающая сила, определяемая как предел прочности на одноосное растяжение, взятый по всей длине  $L$  границы обрушения.

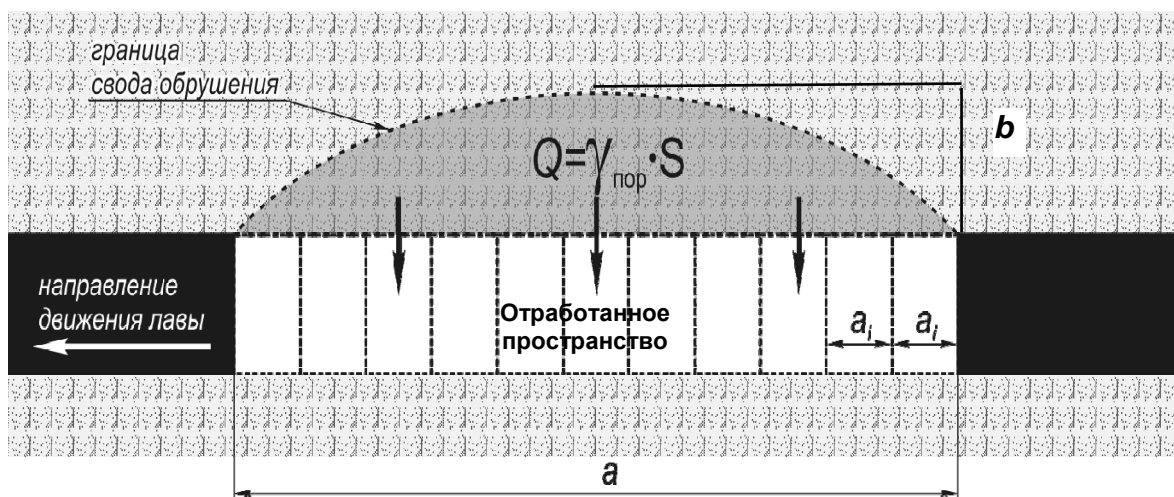


Рис. 1. Расчетная схема для определения условий образования свода обрушения

Таким образом, определение критического размера выработанного пространства, т.е. шага первичной посадки кровли состоит из **следующих этапов**:

- проверка условия обрушения кровли;
- определение НДС породного массива;
- определение области разрушения над выработанным пространством в соответствии с выбранным критерием прочности.

Поскольку исследуемая область представляет собой полость, образованную в существенно неоднородной, анизотропной среде, определение НДС исследуемой области осуществляется методом конечных элементов, который является одним из достаточно простых и универсальных методов решения задач механики горных пород.

Компьютерная реализация метода осуществлялась с помощью лицензионной программы PHASE-2.

Рассмотрен и реализован ряд последовательных расчетных схем, которые имитируют движение лавы от разрезной печи.

Первоначально моделировалось напряженное состояние нетронутого массива, нагруженного весом вышележащих слоев. Затем в массиве путем изменения граничных условий формировались постадийно полости различных размеров:

1 стадия – формируется полость, соответствующая разрезной печи, затем дополнительно формируется полость, соответствующая монтажной камере;

2 стадия – дополнительно формируется полость размером 5 м, имитирующая выработанное пространство при отходе лавы на 5 м от разрезной печи в процессе выемки угля, затем полость длиной 10 м и так далее.

На каждой стадии анализировалось НДС массива и определялась зона разрушенных пород.

В качестве критерия оценки состояния пород и условия перехода их в разрушенное состояние использовался обобщенный критерий Хоека-Брауна [6].

**Оценка шага первичного обрушения пород в лаве.** Моделирование первичной посадки кровли при наличии в кровле на расстоянии 15 м от пласта прочного трещиноватого песчаника осуществлялось с учетом варьирования данных прочности на сжатие песчаника в пределах от 10 до 40 МПа.

Физико-механические характеристики пород, соответствующие условиям Западного Донбасса, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород

№	Название характеристики	Уголь	Аргиллит	Алеврит	Песчаник
1	2	3	4	5	6
1	Модуль упругости (Юнга), МПа	11755	3193	2981	<b>8165</b>
2	Козф. Пуассона	0,26	0,3	0,3	<b>0,3</b>
3	Предел прочности на сжатие, МПа	20	15	20	<b>10, 15, 20, 30, 40</b>

Размеры зон для определения **шага первичного обрушения пород кровли при разных величинах предела прочности вмещающих пород на сжатие** показаны на рис. 2-6.

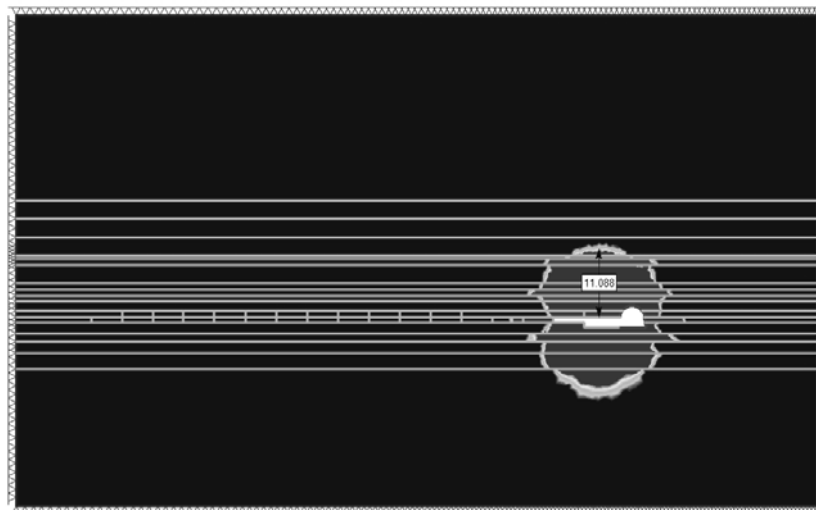


Рис. 2. Качественная картина зоны разрушения выработанного пространства при  $R_{\text{песчаника}} = 10$  МПа (отходе лавы от разрезной печи на 10 м)

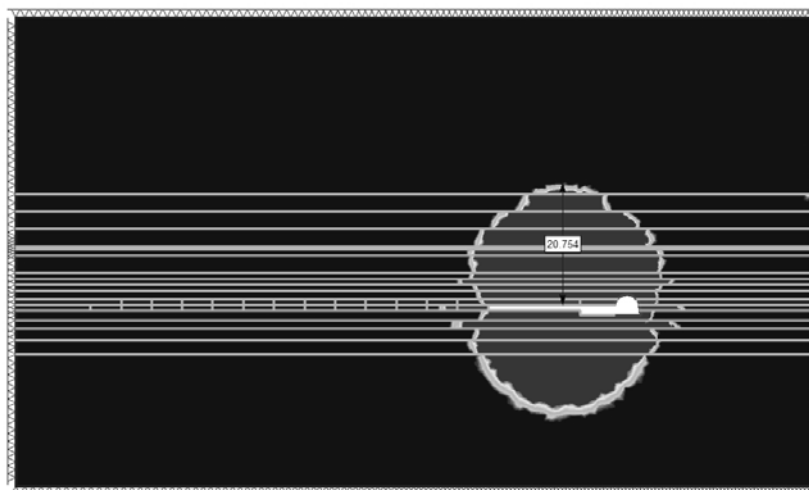


Рис. 3. Качественная картина зоны разрушения выработанного пространства при  $R_{\text{песчаника}} = 15$  МПа (отходе лавы от разрезной печи на 15 м)

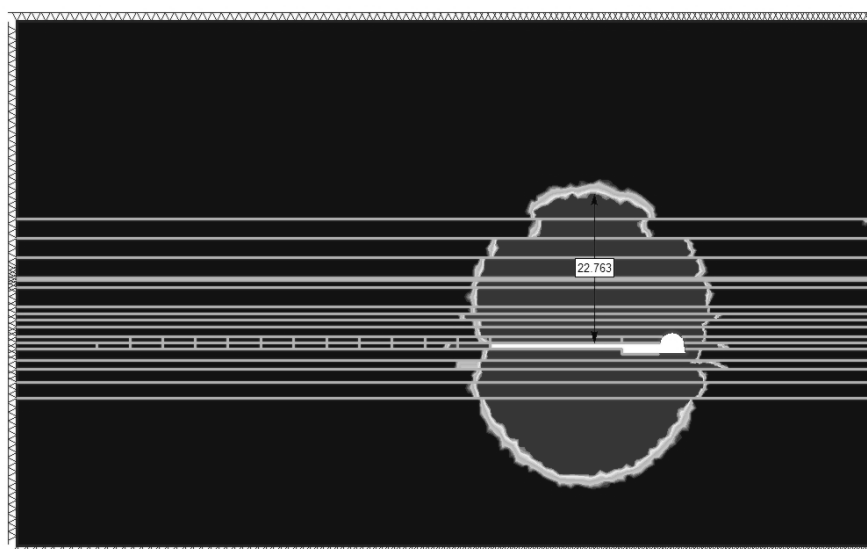


Рис. 4. Качественная картина зоны разрушения выработанного пространства при  $R_{\text{песчаника}} = 20$  МПа (отходе лавы от разрезной печи на 15 м)

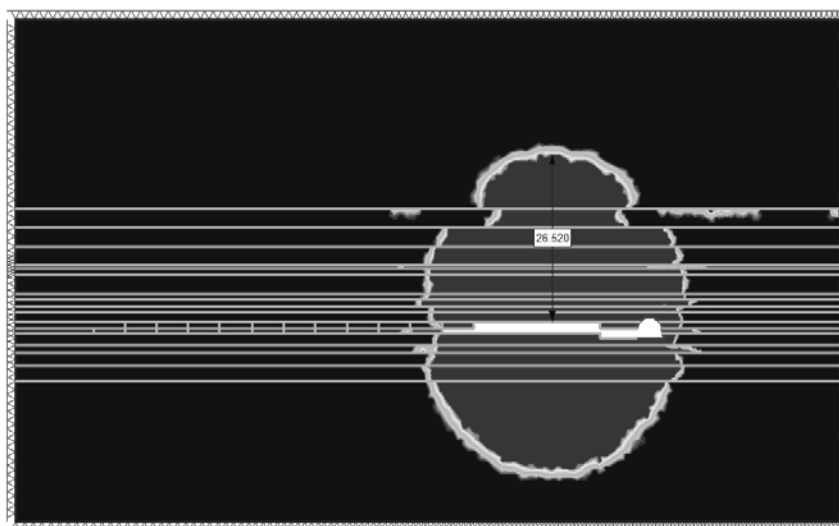


Рис. 5. Качественная картина зоны разрушения выработанного пространства при  $R_{\text{псч}} \text{ песчаника} = 30 \text{ МПа}$  (отходе лавы от разрезной печи на 25 м)

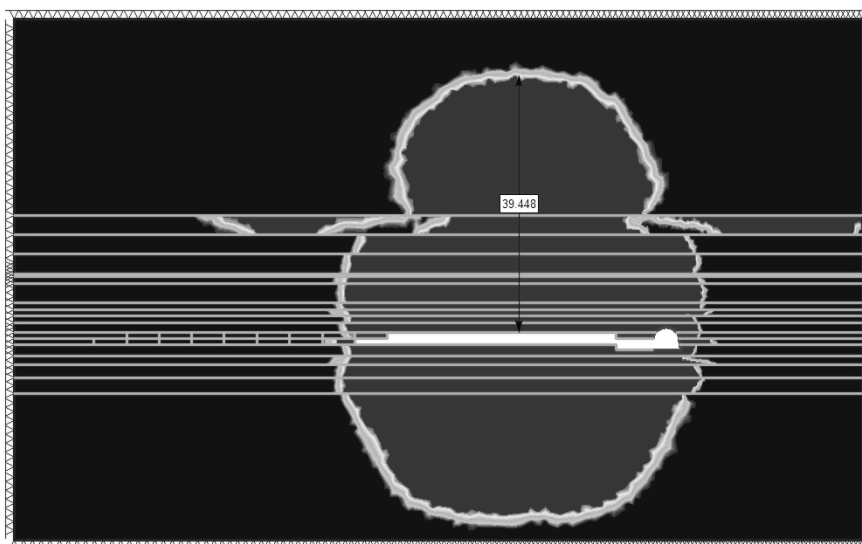


Рис. 6. Качественная картина зоны разрушения выработанного пространства при  $R_{\text{псч}} \text{ песчаника} = 40 \text{ МПа}$  (отходе лавы от разрезной печи на 40 м)

При этом определялись геометрические параметры высоты свода, веса пород в своде обрушения, величины удерживающих силы. Анализируя полученные параметры, предполагаем, что когда вес пород в своде обрушения превосходит силы сцепления, происходит первичное обрушение кровли при данной ширине выработанного пространства. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

В результате расчетов устанавливалась зависимость ширины выработанного пространства от геомеханического показателя условий заложения выработки [2]:

$$\theta = \frac{R_{\text{св}} k_c k_a}{\gamma H}. \quad (2)$$

Здесь  $R_{\text{св}}$  – средневзвешенная величина предела прочности пород кровли на одноосное сжатие;  $k_c = 0,4$  – коэффициент структурного ослабления пород кровли;  $k_a = 0,65$  – коэффициент ослабления прочности пород кровли за счет влаги;  $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$  – объем на вес пород

кровли;  $H = 490$  м – глубина залегания угольного пласта. Результаты расчета геомеханического показателя представлены в табл. 2 для каждого из условий заложения выработки.

Таблица 2.

Определение обрушение пород кровли при разных значениях  
предела прочности на сжатие

Рас- стоя- ние до забоя, $a$ , м	Высота свода, $b$ , м	Уд. вес вме- щающих горн. пород, $\text{кН/м}^3$	Прочность на растя- жение, $R_p$ , МПа	Площадь зоны, $S_z$ , $\text{м}^2$	Вес пород, $Q$ , кН	Удержива- ющая сила, $R$ , кН	Разность $Q-R$
<b>при <math>R_{сж} = 10</math> МПа; <math>\theta = 0,2</math></b>							
5	10	25	0,1	12,3	306,25	7200	-6894
<b>10</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>0,1</b>	<b>209</b>	<b>5225</b>	<b>1100</b>	<b>+4125</b>
<b>при <math>R_{сж} = 15</math> МПа; <math>\theta = 0,3</math></b>							
10	13	25	0,15	256	6402,5	6450	-47,5
<b>15</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>0,15</b>	<b>380</b>	<b>9500</b>	<b>1650</b>	<b>+7850</b>
<b>при <math>R_{сж} = 20</math> МПа; <math>\theta = 0,4</math></b>							
10	13	25	0,2	253,5	6337	8600	-2262
<b>15</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>0,2</b>	<b>446</b>	<b>11162</b>	<b>8000</b>	<b>+3162</b>
<b>при <math>R_{сж} = 30</math> МПа; <math>\theta = 0,6</math></b>							
20	23	25	0,3	484	12100	12600	-500
<b>25</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>0,3</b>	<b>780</b>	<b>19500</b>	<b>21300</b>	<b>+1200</b>
<b>при <math>R_{сж} = 40</math> МПа; <math>\theta = 0,8</math></b>							
30	31	25	0,4	992	24800	28400	-3600
35	36	25	0,4	1296	32400	32800	-400
<b>40</b>	<b>39</b>	<b>25</b>	<b>0,4</b>	<b>1343</b>	<b>33575</b>	<b>32000</b>	<b>+2425</b>

При этом для более точного определения величины шага обрушения пород кровли, применен метод линейной интерполяции. Результаты интерполированных величин первичного шага обрушения пород основной кровли от геомеханического показателя условия заложения выработки приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Параметры величины шага первичного обрушения и геомеханического показателя  
условий заложения выработки

$\theta$	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8
$a$ , м	5	10	12	21	36

На основе результатов, представленных в табл. 3, построен график зависимости величины шага первичного обрушения пород основной кровли  $a$  от геомеханического показателя условий заложения выработки  $\theta$  на рис. 7.

Эта кривая хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью следующего вида:

$$a = 4,7 \exp(2,4\theta). \quad (3)$$

На рис 7 пунктиром показана величина первичного шага обрушения пород кровли для горно-геологических условий ПСП «Шахта Степная» ШУ «Першотрвенское» «ДТЭК Павлоградуголь» ( $a = 35$  м). Это свидетельствует о том, что полученные значения шага первичного

обрушения близки к тем, которые были получены в результате численного моделирования ( $a = 36$  м).

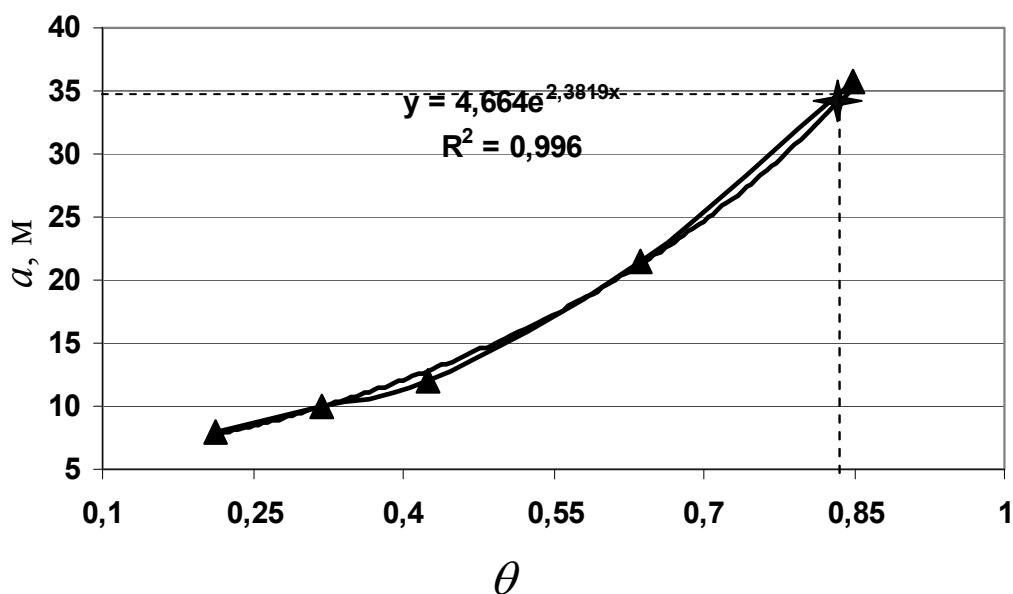


Рис. 7. График зависимости величины шага первичного обрушения пород основной кровли от геомеханического показателя условий заложения выработки

#### Выводы.

1. Предложена численная модель развития геомеханических параметров в кровле лавы при ее отходе от монтажной камеры.
2. Установлена зависимость величины шага первичного обрушения пород кровли от основных геомеханических показателей условий отработки: глубина заложения, крепость пород, их плотность, трещиноватость, обводненность и структурная неоднородность.

#### Список литературы

1. Мартовицкий А.В. Геомеханические процессы при отработке угольных пластов струговыми комплексами в условиях шахт Западного Донбасса: дис. д-ра техн. наук: 05.15.09 / Мартовицкий Артур Владимирович. – Днепропетровск, 2012. – 392 с.
2. Шашенко А.Н. Механика горных пород / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. –К.: Новый друк, 2004. – 400 с.
3. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление / М.М. Протодьяконов – М.: Гостехиздат, 1931. – 153 с.
4. Хозяйкина Н.В. Обрушение пород кровли в лавах пологопадающих угольных пластов: Монографія / Хозяйкина Н.А. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 127 с.
5. Шашенко А.Н. Методы теории вероятностей в геомеханике / А.Н. Шашенко, Н.С. Сургай, Л.Я. Парчевский – К.: Техніка, 1994. – 216 с.
6. Hoek, E. /Hoek-Brown criterion // Hoek E, Carranza-Torres C., Corkum B. Proc.NARMS-TAC Conference. – Toronto, 2002. – Vol. 1, P. 267 – 273.